代乳品蛋白质来源对早期断奶犊牛营养物质消化和瘤胃发酵的影响

黄开武[1,2] 屠 焰[1] 司丙文[1] 许贵善[2] 郭江鹏[3] 杨春涛[1] 郭 峰[1] 刁其玉[1*]

（1.中国农业科学院饲料研究所，奶牛营养学北京市重点试验室，北京 100081；2.塔里木大学动物科技学院，阿拉尔 843300，3.北京市畜牧总站，北京 100029）

摘 要：本试验旨在研究代乳品中不同蛋白质来源对早期断奶犊牛营养物质消化和瘤胃发酵的影响。选用体重相近、(21±5）日龄的中国荷斯坦公犊牛 50 头，随机分成 5 组，每组 10 头犊牛，对照组（MP 组）代乳品采用乳源蛋白质，试验组代乳品采用植物源蛋白质和乳源蛋白质[粗蛋白质（CP）比为 70:30]，植物源蛋白质分别为大豆浓缩蛋白（SP 组）、改性小麦蛋白（WP 组）、花生浓缩蛋白（PP 组）、大米分离蛋白（RP 组）。试验期 42 d，在 28、42 和 56 日龄采集瘤胃液测定瘤胃发酵指标；在 29~35 日龄、57~63 日龄分别进行消化代谢试验。结果显示：1）22~63 日龄各组犊牛干物质采食量（DMI）平均值无显著差异（P＞0.05），57~63 日龄 SP 和 RP 组 DMI 显著高于 MP、WP 和 PP 组（P＜0.05)。2）29~35 日龄，有机物（OM）消化率 MP 组显著高于 WP、PP、RP 3 组（P＜0.05)；粗蛋白质（CP）消化率 MP 组显著高于其他 4 组（P＜0.05)，而 SP、RP 组显著高于 WP、PP 组（P＜0.05)，WP 组显著高于 PP 组（P＜0.05)；粗脂肪（EE）消化率 MP、SP、RP 组显著高于 WP、PP 组（P＜0.05)；钙（Ca）消化率 MP、RP 组显著高于 WP、PP 组（P＜0.05)；磷（P）消化率 MP 组显著高于 SP、WP、PP 组（P＜0.05)。57~63 日龄，OM 消化率 MP 组显著高于 WP、PP 组（P＜0.05)；CP 消化率 MP 组显著高于 WP、PP、RP 组（P＜0.05)；Ca 消化率 MP 组显著高于 SP、WP 组（P＜0.05)；EE 消化率 MP 组与 SP、WP、PP、RP 4 组均无显著差异（P＞0.05)，P 消化率各组间无显著差异（P＞0.05)。3）28 和 42 日龄，各组间各瘤胃发酵指标均无显著差异（P＞0.05)；56 日龄时，SP 和 RP 组瘤胃液 pH 显著低于 WP 和 PP 组（P＜0.05)，总挥发性脂肪酸（TVFA）浓度 MP 组与其他 4 组无显著差异（P＞0.05)，但 PP 组显著低于 SP 和 RP 组（P＜0.05)；SP 和 RP 组丙酸、丁酸浓度分别显著高于和低于 MP、WP 和 PP 组（P＜0.05）,异戊酸、戊酸浓度 MP 组显著

收稿日期：2015-07-08
基金项目：农业部公益性行业专项“南方地区幼龄草食畜禽饲养技术研究”（201303143）；2014 年北京市农业局科技项目“犊牛早期断奶关键技术集成与示范”
作者简介：黄开武（1990—），男，河南信阳人，硕士研究生，从事反刍动物营养与饲料科学研究。E-mail: huangkaiwu@live.com
*通信作者：刁其玉，研究员，博士生导师，E-mail: diaoqiyu@caas.cn

低于其他各组（P<0.05）。综上所述，在本营养调控条件下，犊牛对植物源蛋白质的消化率低于乳源蛋白质，随日龄的增长，消化率差距减小；植物源蛋白质中大豆蛋白具有较高的消化率；相对于乳源蛋白质，植物源蛋白质可以促进犊牛瘤胃尽早发育。

关键词：犊牛；植物源蛋白质；代乳品；消化；代谢；瘤胃

中图分类号：S823

动物饲料的蛋白质来源直接影响着饲粮的品质和培育成本，因而是动物培育避不开的话题[1]。现代奶牛养殖业常利用代乳品对犊牛实行早期断奶，国内外对犊牛代乳品中蛋白质的来源的研究已有很多，常用的蛋白质原料主要包括乳蛋白和非乳蛋白 2 大类[错误!未找到引用源。]。乳源蛋白质具有消化率高、氨基酸组成平衡和抗营养因子水平低等优势，被认为是犊牛饲粮中“最优的”蛋白质来源。近年来国内外开展了很多大豆蛋白制品用于犊牛代乳品的研究，其效果可与乳源蛋白质相媲美[3-6]。小麦、花生、大米等植物源蛋白质具有与大豆蛋白相似的营养特性，而且在我国产量可观，开发这些植物源蛋白质的应用潜力，扩大犊牛代乳品中可利用的蛋白质资源，具有重要的意义。

本文利用大豆、小麦、花生、大米 4 种植物源蛋白质以及乳源蛋白质原料配制出 5 种不同蛋白质来源的代乳品，在几种主要限制性氨基酸相对平衡的条件下，系统研究代乳品中不同来源蛋白质对早期断奶犊牛营养物资消化代谢和瘤胃发酵的影响，以探索各种植物源蛋白质源的利用效果。

1 材料与方法

1.1 试验动物

本试验在北京卓宸畜牧有限公司进行。选择 50 头（21±5）日龄、体重（46±6） kg 的健康中国荷斯坦公犊牛，按着体重和日龄一致原则分成 5 组，设定 1 个对照组和 4 个试验组，每组 10 头犊牛。

1.2 试验设计和试验饲粮

采用单因素随机设计。利用 4 种植物源蛋白质（大豆浓缩蛋白、改性小麦蛋白、花生浓缩蛋白、大米分离蛋白）和乳源蛋白质（全脂奶粉和脱脂奶粉）为主要蛋白质来源配制 5 种犊牛代乳品，其 CP 22%、总能（GE）19.66 MJ/kg、Lys∶Met∶Thr∶Trp=100.0∶29.50∶65.0∶20.5、Lys=1.84%。其中各组氨基酸水平均是在基础饲粮的基础上通过添加晶体氨基

酸调控实现。对照组（MP 组）犊牛饲喂乳源蛋白质代乳粉，试验组代乳品分别由植物源蛋白质和乳源蛋白质按 CP 总量的 70:30 的比例提供蛋白质，4 种植物源蛋白质分别为大豆浓缩蛋白（CP=65.2%）、改性小麦蛋白（CP=77.8%）、花生浓缩蛋白（CP=54.7%）和大米分离蛋白（CP=82.0%），分别记为 MP、SP、WP、PP 和 RP 组。各组犊牛同时饲喂同一种开食料。代乳品和开食料的营养成分含量见表 1。试验期 42 d。分别在犊牛 29~35 日龄及 57~63 日龄，每组选取 4 头犊牛进行 2 期消化代谢试验，预试期为 4 d，正试期为 3 d。

表 1　代乳品和开食料营养水平及开食料组成（风干基础）

Table 1　Nutrient levels of milk replacer and starter, and starter composition (air-dry basis)　　%

项目 Items	代乳品 Milk replacer					开食料 Starter
	MP 组 MP group	SP 组 SP group	WP 组 WP group	PP 组 PP group	RP 组 RP group	
营养水平 Nutrient levels[1]						
干物质 DM	96.26	95.50	95.75	95.46	96.36	89.39
粗蛋白质 CP	22.71	22.44	21.64	21.76	22.31	21.18
总能 GE/(MJ/kg)	19.98	19.67	20.04	19.68	19.98	16.65
粗脂肪 EE	14.43	15.15	15.14	14.99	14.76	2.03
粗灰分 Ash	6.68	5.20	4.06	5.02	4.31	6.53
钙 Ca	0.81	0.78	0.72	0.73	0.74	0.72
磷 P	0.66	0.50	0.52	0.53	0.54	0.50
原料 Ingredients						
玉米 Corn						44.2
豆粕 Soybean meal						23.8
麦麸 Wheat bran						5.0
玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS						10.0
膨化大豆 Extruded soybean						4.9
膨化玉米 Extruded corn						5.0
棉籽粕 Cottonseed meal						3.0
预混料 Premix[2]						4.0
合计 Total						100.0

[1] 实测值 Measured values。

[2]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 15 000 IU，VD 5 000 IU，VE 50 mg，VK_3 4 mg，VB_1 8 mg，VB_2 7.2 mg，VB_5 80 mg，VB_6 8 mg，VB_{12} 0.04 mg，生物素 biotin 0.60 mg，叶酸 folic acid 4.0 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 22 mg，烟酸 nicotinic acid 20 mg，Fe(as ferrous sulfate) 90 mg，Cu (as copper sulfate) 12.5 mg，Mn (as manganese sulfate) 30 mg，Zn(as zinc sulfate) 90 mg，Se(as sodium selenite) 0.3 mg，I (as potassium iodide) 1.0 mg。

1.3 饲养管理

试验选取的犊牛在出生后 12 h 内饲喂 3 kg 初乳，此后犊牛饲喂初乳和鲜奶，饲喂量为犊牛体重的 10%。各组犊牛 15～20 日龄是代乳品过渡期，过渡期内饲喂代乳品与牛奶的比例逐渐由 1:3 增加到 3:1，至犊牛 21 日龄时全部饲喂相应代乳品。

代乳品用煮沸后冷却至 40～50 ℃的热水冲泡，热水和代乳品干粉按着 1:7（*m*/*m*）的比例混合，充分搅拌成乳液饲喂犊牛，每日分为 2 次（08:00、18:30）饲喂，饲喂 30 min 后自由饮水。代乳粉乳液日饲喂量为犊牛体重的 10%，并随犊牛体重增长及时调整。

犊牛 3 周龄后即进行补饲开食料，4～5 周龄及 6 周龄内每头犊牛每日的饲喂量分别为 400、800 g，7～9 周龄自由采食。每日记录开食料剩余量。试验犊牛按组分圈单栏饲养，每个栏位占地约 2.25 m^2，为保证犊牛舍的卫生，每周用生石灰消毒牛舍 1 次。代乳品和开食料营养水平及开食料组成见表 1。

1.4 样品采集及分析方法

1.4.1 样品采集

饲料样采集：在代谢试验正试期的每天晨饲前，进行代乳品和开食料的饲料样采集，正试期内的样品混匀后储存在自封袋里，-20 ℃冷冻保存。

粪样采集：采用全收粪法。详细记录代谢试验期内每头犊牛每日的排粪量。采集粪样总量的 10%作为混合样品，然后每 100 g 鲜粪加入 10 mL 10%的稀盐酸固氮，-20 ℃冷冻保存待测。

1.4.2 瘤胃液样品的采集

在犊牛 28、42、56 日龄晨饲前，每组选取 4 头犊牛，用灭菌口腔导管通过口腔采集瘤胃液，4 层纱布过滤后，立即用便携式 pH 计（testo-206-pH2）测定瘤胃液 pH，剩余滤液分装于 10 mL 的离心管（高压灭菌），-20 ℃保存备用。

1.4.3 样品的分析测定

测定饲料样品及粪样中的干物质（DM）、有机物（OM）、GE、粗蛋白质（CP）、粗脂肪（EE）、钙（Ca）和磷（P）的含量。以上指标的测定参照张丽英[错误!未找到引用源。]的方法进行。

采用苯酚-次氯酸钠比色法测定瘤胃液中氨态氮（NH_3-N）浓度；以气相色谱法测定瘤胃液中各种挥发性脂肪酸（VFA）浓度，并计算总挥发性脂肪酸（TVFA）浓度。

1.4　数据统计和分析

用 Excel 2013 对原始数据进行初步整理，然后采用 SAS 9.2 统计处软件 GLM 模型对各组营养物质消化率数据进行处理，用 Mixed 模型对其他数据进行 *P* 值、SEM 检验，以 *P*＜0.05 和 *P*＜0.01 分别作为差异显著和极显著的判断标准。

2　结果与分析

2.1　代乳品中蛋白质来源对犊牛干物质采食量(DMI)的影响

试验期内，犊牛采食的干物质由代乳品和开食料供应，代乳品的饲喂量（以乳液计）以犊牛体重的 10%供给，各组间无显著差异（*P*＞0.05）。如表 2 所示，各组犊牛开食料 22～63 日龄 DMI 平均值差异不显著（*P*＞0.05），57~63 日龄期间，SP 和 RP 组犊牛开食料 DMI 显著高于其他 3 组（*P*＜0.05）。

表 2　代乳品中蛋白质来源对早期断奶犊牛干物质采食量的影响

Table 2　Effects of protein source in milk replacer on dry matter intake in early-weaner calves　　g

日龄 Days of age	组别 Groups					SEM	*P* 值 *P*-value		
	MP	SP	WP	PP	RP		处理 Treatment	日龄 Days of age	处理×日龄 Treatment×days of age
22～28	380.0	380.0	380.0	385.0	398.6	27.96	0.841 3		
29～35	487.1	468.6	448.6	442.1	463.6	7.45	0.061 2		
36～42	535.7	517.9	516.4	510.7	535.7	4.67	0.093 6		
43～49	748.6	773.6	730.7	780.0	869.3	36.14	0.242 9		
50～56	882.1	961.4	885.0	842.1	985.7	36.59	0.230 3		
57～63	893.6^{b}	1054.3^{a}	895.7^{b}	874.3^{b}	$1\,071.4^{a}$	28.14	0.022 6		
平均值 Mean	695.2	680.2	660.6	670.6	738.9	16.55	0.730 8	<0.000 1	0.846 2

同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著（*P*＞0.05），不同小写字母表示差异显著（*P*＜0.05）。下表同。

In the same row ,values with the same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*＞0.05)， while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*＜0.05). The same as below.

2.2　代乳品中蛋白质来源对犊牛犊牛消化代谢的影响

由表 3 可知，代乳品中蛋白质来源对犊牛 29~35 日龄时 OM、CP、EE、Ca、P、GE 的消化率产生显著的影响（*P*＜0.05）。其中 OM 消化率 MP 组显著高于 WP、PP 和 RP 组（*P*＜0.05），CP 消化率 MP 组显著高于 SP、WP、PP、RP 组（*P*＜0.05），GE 消化率 MP 组显著高于 WP、PP、RP 组（*P*＜0.05），EE 消化率 MP 组显著高于 WP、PP 组（*P*＜0.05），Ca 消化率 MP 组显著高于 WP、PP 组（*P*＜0.05），P 消化率 MP 组显著高 SP、WP、PP 组（*P*

＜0.05）。代乳品中蛋白质来源对犊牛 57~63 日龄时 OM、CP、EE、Ca 消化率有显著影响（*P*＜0.05），P 消化率无显著变化（*P*＞0.05）。其中，OM 消化率 MP 组与 WP、PP 组差异显著（*P*＜0.05），与 SP、RP 组无显著差异（*P*＞0.05），SP、WP、PP、RP 组之间亦无显著差异（*P*＞0.05），CP 消化率 MP 组与 WP、PP、RP 组差异显著（*P*＜0.05），与 SP 组无显著差异（*P*＞0.05），除 SP 组与 PP 组差异显著（*P*＜0.05）外，SP、WP、PP、RP 组之间均无显著差异（*P*＞0.05），GE 消化率 MP 组显著高于 WP、PP 组（P＜0.05），EE 消化率 MP、PP 组与其他 4 组差异均不显著（*P*＞0.05），而 SP、WP 组显著低于 RP 组（*P*＜0.05），Ca 消化率 MP 组显著高于 SP、WP 组（*P*＜0.05），其他组之间差异不显著（*P*＞0.05）。犊牛 61~63 日龄的 OM、CP、Ca、P 消化率具有低于 26~28 日龄的趋势，而 EE 的消化率随日龄增加而增加。

表 3　代乳品中蛋白质来源对早期断奶犊牛营养物质消化率的影响

Table 3　Effects of protein source in milk replacer on nutrient digestibility in early-weaner calves　%

项目 Items	组别 Groups					SEM	*P* 值 *P*-value
	MP	SP	WP	PP	RP		
29~35 日龄 29 to 35 days of age							
有机物消化率 OM digestibility	92.25[a]	87.51[ab]	83.25[b]	83.58[b]	85.52[b]	1.015	0.002 0
粗蛋白质消化率 CP digestibility	89.66[a]	82.65[b]	73.07[c]	68.94[d]	81.42[b]	1.748	<0.000 1
粗脂肪消化率 EE digestibility	87.36[a]	86.16[a]	76.99[b]	79.32[b]	87.49[a]	1.306	0.002 7
总能消化率 GE digestibility	91.39[a]	86.67[ab]	83.74[b]	82.77[b]	85.24[b]	0.988	0.003 6
钙消化率 Ca digestibility	79.11[a]	76.30[ab]	68.73[b]	59.83[c]	79.87[a]	1.547	<0.000 1
磷消化率 P digestibility	93.32[a]	84.24[b]	84.21[b]	76.21[c]	89.42[ab]	2.027	<0.000 1
57~63 日龄 57 to 63 days of age							
有机物消化率 OM digestibility	87.29[a]	84.22[ab]	82.07[b]	82.02[b]	84.51[ab]	0.736	0.023 1
粗蛋白质消化率 CP digestibility	82.15[a]	78.58[ab]	74.57[bc]	71.86[c]	75.80[bc]	1.001	0.000 2
粗脂肪消化率 EE digestibility	89.02[ab]	82.65[b]	84.61[b]	90.12[ab]	94.36[a]	1.585	0.020 3
总能消化率 GE digestibility	86.46[a]	82.41[ab]	81.56[b]	81.49[b]	83.98[ab]	0.699	0.023 3
钙消化率 Ca digestibility	68.05[a]	56.29[b]	56.24[b]	57.80[ab]	66.00[ab]	1.313	0.026 7
磷消化率 P digestibility	85.26	80.54	81.60	80.72	84.19	1.786	0.301 1

2.3　代乳品中蛋白质来源对犊牛瘤胃发酵的影响

由表 4 可知，在 28 和 42 日龄，试验各组犊牛瘤胃液 pH 维持在 6.57～6.99 范围内，组间无显著差异（*P*＞0.05），在 56 日龄时，MP 组与 SP、WP、PP、RP 组均无显著差异（*P*＞0.05），但 WP、PP 组瘤胃液 pH 显著高于高于 SP 和 RP 组（*P*＜0.05）。在 28、42 和 56 日龄，各组瘤胃液 NH_3-N 浓度处于 11.70～19.76 mg/dL 之间，组间差异不显著（*P*＞0.05）。

整个试验期内，犊牛瘤胃液 pH 随日龄增加呈极显著降低（P＜0.01），NH_3-N 浓度呈极显著增加（P＜0.01）。

表 4 代乳品中蛋白质来源对早期断奶犊牛瘤胃液 pH 和氨态氮浓度的影响

Table4 Effects of protein source in milk replacer on rumen fluid pH and NH_3-N concentration in early-weaner calves

项目 Items	日龄 Days of age	组别 Groups					SEM	P 值 P-value		
		MP	SP	WP	PP	RP		处理 Treatment	日龄 Days of age	处理×日龄 Treatment×days of age
pH	28	6.96	6.94	6.93	6.96	6.99	0.044	0.712 6		
	42	6.57	6.63	6.72	6.88	6.65	0.051	0.062 8		
	56	6.41[ab]	6.23[b]	6.65[a]	6.63[a]	6.28[b]	0.062	0.014 8	<0.000 1	0.260 0
	平均值 Mean	6.65	6.60	6.77	6.82	6.64	0.041	0.294 8		
氨态氮 NH_3-H (mg/dL)	28	11.98	12.04	11.70	11.83	11.99	0.189	0.689 9		
	42	14.76	14.18	14.50	15.01	15.00	0.291	0.340 8		
	56	17.85	19.76	18.44	18.03	19.76	0.302	0.053 0	<0.000 1	0.604 0
	平均值 Mean	14.86	15.33	14.88	14.95	15.58	0.402	0.634 8		

如表 5 所示，在 28 和 42 日龄时，试验各组犊牛瘤胃液各 VFA 浓度均无显著差别（P＞0.05）。在 56 日龄时，试验各组犊牛瘤胃液 TVFA、丙酸、丁酸、异戊酸、戊酸浓度出现显著差异（P＜0.05），其中 SP、RP 组瘤胃液丙酸和丁酸浓度分别显著高于和低于其他 3 组（P＜0.05），PP 组犊牛瘤胃液 TVFA 浓度显著低于 SP 和 RP 组（P＜0.05），异戊酸和戊酸浓度 MP 组显著低于其他各组（P＜0.05）。在整个试验期内，日龄对犊牛瘤胃液 VFA 浓度和比例均有极显著的影响（P＜0.01）。

表 5 代乳品中蛋白质来源对早期断奶犊牛瘤胃液挥发性脂肪酸浓度的影响

Table 5 Effects of the protein source in milk replacer on volatile fatty acid concentrations of rumen fluid in early-weaner calves mmol/L

项目 Items	日龄 Days of age	组别 Groups					SEM	P 值 P-value		
		MP	SP	WP	PP	RP		处理 Treatment	日龄 Days of age	处理×日龄 Treatment×days of age
乙酸 Acetate	28	27.61	27.26	26.96	25.94	27.62	0.320	0.453 1		
	42	33.50	34.36	34.37	33.15	31.87	0.622	0.264 0		
	56	43.07	44.10	41.30	40.50	44.86	0.930	0.056 6	<0.000 1	0.740 1
	平均值 Mean	34.73	35.24	34.21	33.20	34.78	0.921	0.563 7		
丙酸 Propionate	28	10.47	10.74	10.19	9.65	10.63	0.324	0.514 7	<0.000 1	0.537 7

	42	14.50	15.76	14.96	13.50	15.64	0.702	0.184 2		
	56	29.36^{b}	33.73^{a}	28.99^{b}	29.25^{b}	33.20^{a}	0.573	0.007 7		
	平均值 Mean	18.11	20.08	18.05	17.47	19.82	1.191	0.051 5		
异丁酸 Isobutyrate	28	0.76	0.73	0.79	0.76	0.74	0.010	0.212 8		
	42	0.78	0.82	0.79	0.79	0.80	0.016	0.495 8	0.000 4	0.722 4
	56	0.80	0.90	0.87	0.84	0.89	0.017	0.059 0		
	平均值 Mean	0.78	0.81	0.82	0.79	0.81	0.010	0.607 4		
丁酸 Butyrate	28	5.09	5.02	5.04	5.05	5.06	0.104	0.912 4		
	42	5.85	5.51	5.91	5.94	5.42	0.242	0.379 3	0.001 6	0.107 4
	56	6.96^{a}	5.15^{b}	6.75^{a}	6.72^{a}	4.70^{b}	0.247	0.000 5		
	平均值 Mean	5.96	5.23	5.90	5.90	5.06	0.130	0.053 5		
异戊酸 Isovalerate	28	1.23	1.25	1.21	1.19	1.22	0.025	0.823 2		
	42	1.56	1.65	1.58	1.55	1.69	0.029	0.556 7	<0.000 1	0.466 7
	56	2.29^{b}	2.95^{a}	2.78^{a}	2.98^{a}	3.13^{a}	0.131	0.001 7		
	平均值 Mean	1.69	1.95	1.85	1.90	2.01	0.100	0.149 8		
戊酸 Valerate	28	2.34	2.33	2.45	2.50	2.48	0.049	0.246 6		
	42	2.41	2.67	2.59	2.84	2.65	0.041	0.004 2	<0.000 1	0.419 5
	56	2.81^{b}	3.20^{a}	3.07^{a}	3.19^{a}	3.21^{a}	0.055	0.007 5		
	平均值 Mean	2.52	2.73	2.71	2.91	2.92	0.046	0.056 9		
乙酸/丙酸 Acetate/propionate	28	2.69	2.56	2.68	2.72	2.64	0.070	0.616 4		
	42	2.34	2.21	2.33	2.61	2.35	0.142	0.229 3	<0.000 1	0.998 6
	56	1.47	1.31	1.43	1.39	1.35	0.035	0.621 7		
	平均值 Mean	2.17	2.03	2.15	2.24	2.11	0.088	0.857 3		
总挥发性脂肪酸 TVFA	28	47.49	47.33	46.64	45.28	48.15	0.595	0.358 4		
	42	58.59	60.76	60.20	57.77	58.06	1.029	0.337 7	<0.000 1	0.773 0
	56	85.29^{ab}	90.02^{a}	83.75^{ab}	83.47^{b}	89.99^{a}	1.183	0.041 3		
	平均值 Mean	63.79	66.04	63.53	62.17	65.40	2.222	0.121 0		

3 讨 论

3.1 代乳品蛋白质来源对犊牛消化代谢的影响

一般研究认为用植物源蛋白质替代乳源蛋白质会降低犊牛的营养物质消化率，根据植物源蛋白质的种类[错误!未找到引用源。]、加工方式[错误!未找到引用源。]及替换乳蛋白比例[错误!未找到引用源。]的不同，降低程度会出现较大的变化。针对犊牛植物源蛋白质消化率较低的问题，李辉[错误!未找到引用源。]认为植物源蛋白质中各氨基酸比例的平衡性劣于乳源蛋白质，影响了犊牛对植物源蛋白质的消化吸收。Ternouth等[错误!未找到引用源。]认为植物源蛋白质在皱胃中凝结效果远不及乳源蛋白质，导致在皱胃中的停滞时间短，减少了胃蛋白酶的酶解时间，使较多植物源蛋白质未消化就进入肠道后端而降低消化率。植物源蛋白质消化率降低的程度还与其抗营养因子水平有直接的相关

性，Tukur等错误!未找到引用源。利用大豆活性抗原作为犊牛主要的蛋白质来源，发现大豆蛋白体外免疫抗原活性越高，体内回肠食糜中大豆球蛋白以及β-伴大豆球蛋白含量越高，饲粮中营养物质表的观消化率也越低，这与孙泽威等错误!未找到引用源。得出的结论相似。由植物源蛋白质抗原及凝集素等其他抗营养因子引起犊牛胃肠道组织损伤、超敏反应错误!未找到引用源。及消化酶活性降低错误!未找到引用源。等，也是导致植物源蛋白质低效率的重要影响因素。此外，Montagne等错误!未找到引用源。_错误!未找到引用源。指出植物源蛋白质表观消化率低不是由犊牛消化系统对饲粮蛋白质水解能力下降以及氨基酸吸收差异引起的，主要是由植物源蛋白质刺激了犊牛的肠道内源性分泌和微生物合成，内源蛋白质损失增加造成的。本研究在犊牛29~35日龄和57~63日龄进行了2期消化试验，在29~35日龄代乳品中蛋白质来源对犊牛饲粮OM、CP、EE、P的消化率产生显著或极显著的影响，其中乳源蛋白质组CP消化率显著高于大豆、小麦、花生、大米蛋白组，本试验依据等能等蛋白质原则配制犊牛代乳品，并通过添加晶体氨基酸实现犊牛主要限制性氨基酸的平衡，大豆和大米蛋白组CP消化率均高于80%，这显著高于李辉错误!未找到引用源。78.0%、姚录昆等错误!未找到引用源。74.7%、高艳霞错误!未找到引用源。65.3%的报道，大豆和大米蛋白组分别选用了大豆浓缩蛋白和大米分离蛋白作为试验材料，这2种植物源蛋白质中抗营养因子水平低，消除了抗营养因子对犊牛消化利用的影响，这说明通过调控犊牛饲粮中氨基酸营养和降低抗营养因子水平，可以改善犊牛对植物源蛋白质的消化吸收情况。在5个试验组中又以小麦和花生蛋白组的CP消化率最低，较低的消化率可能与这2组植物源蛋白质抗营养因子水平较高有关，利用这2种植物源蛋白质替换70%的乳源蛋白质超出该期犊牛消化机能和免疫力的承受范围，这也说明主要限制性氨基酸的平衡不能完全抵消植物源蛋白质中抗营养因子对犊牛营养物质消化吸收产生的不利影响。57~63日龄时，大豆、小麦、花生和大米蛋白组CP消化率与乳源蛋白质组的差距有所减小，这说明随着日龄的变化，瘤胃的消化功能显著增强，本试验仅实现了赖氨酸、苏氨酸、蛋氨酸和色氨酸4种氨基酸的平衡，植物源蛋白质组相对乳源蛋白质组，可能存在其他对犊牛生长有重要作用的限制性氨基酸尚未平衡，犊牛通过瘤胃微生物的酵解作用改善了饲粮原来的氨基酸组成，使植物源蛋白质组限制性氨基酸供应趋于平衡，减小了植物源蛋白质组与乳源蛋白质之间CP消化吸收的差异。小麦、花生和大米蛋白组虽然显著低于乳源蛋白质组，但和29~35日龄时相比，2组与乳源蛋白质组CP蛋白消化率的差距有明显的缩小，而大豆蛋白组CP消化率与乳源蛋白质组无显著差异，这说明该期

犊牛消化系统对饲粮中植物源蛋白质已不存在营养性障碍。29~35日龄时乳源蛋白质组OM消化率显著高于小麦、花生和大米蛋白组，这可能与植物源蛋白质组代乳品含有一定水平的纤维素有关，而57~63日龄时随着瘤胃消化功能的完善，可以发现4个植物源蛋白质组OM消化率相对乳源蛋白质的差距明显减少，这说明植物源蛋白质组犊牛瘤胃增强了对饲粮中纤维的消化利用能力。29~35日龄时小麦、花生蛋白组EE消化率显著低于乳源、大豆和小米3组，这可能是因为植物源蛋白质中抗营养因子降低了2组犊牛胃肠道中脂肪酶的分泌量和活性以及脂肪的吸收能力，这与Liener[错误!未找到引用源。]在饲粮中添加生大豆粉降低胰液中脂肪酶相对活性的报道相似，而57~63日龄时植物源蛋白质组EE消化率与乳源蛋白质组无显著差异，而花生和大米蛋白组甚至超过乳源蛋白质组89.02%的消化率，本试验选用的开食料EE含量为2.03%，因而饲粮中EE主要来源于犊牛代乳品，由此可见该期犊牛消化系统已经能消除植物源蛋白质中抗营养因子对EE消化吸收的障碍。本试验中犊牛在29~35日龄、57~63日龄，P消化率均高于75%，显著高于李辉[错误!未找到引用源。]、李影球[错误!未找到引用源。]、黄锡霞等[错误!未找到引用源。]报道的结果；29~35日龄小麦、花生蛋白组Ca消化率低于其他3组，可能与这2组不同蛋白质来源蛋白质结构差异或EE消化率较低有关，其原因尚需进一步的试验探讨。

3.2　代乳品蛋白质来源对犊牛瘤胃发酵的影响

瘤胃液 pH 是反应瘤胃发酵状况的一项重要综合指标，保持 pH 在一个正常的范围内是瘤胃正常发酵的前提。本试验中各组犊牛在不同时期瘤胃液 pH 均维持在 6～7 的正常范围，且各组 pH 均随日龄的增长呈极显著降低，这可能与犊牛代乳品和开食料 DMI 逐渐增加有关，Suárez 等[错误!未找到引用源。]认为幼龄反刍动物采食的代乳品和开食料中含有可溶性糖类，迅速发酵产生大量有机酸而降低瘤胃内 pH。56 日龄时，大豆和大米蛋白组犊牛瘤胃液 pH 低于乳源蛋白质、小麦蛋白和花生蛋白 3 组，且与小麦和花生蛋白 2 组差异显著，这可能与 43～56 日龄时大豆和大米蛋白组犊牛开食料 DMI 较其他 3 组高有关，为瘤胃微生物提供更多的发酵底物。较低的 pH 可转变瘤胃的发酵途径，产生大量的丙酸和丁酸，促进犊牛瘤胃发育[错误!未找到引用源。]。此外较低的 pH 也有利于瘤胃上皮对 VFA 的吸收，使瘤胃内 TVFA 浓度下降，VFA 浓度的降低又会导致经瘤胃壁吸收入血的 VFA 量减少，使动物产生饥饿感而促进采食，这也与试验中大豆和大米蛋白组开食料 DMI 较高的结果相符。

瘤胃液 NH_3-N 浓度反映了微生物蛋白合成与蛋白质降解的动态平衡关系，过高或高低

的 NH_3-N 浓度都不利于犊牛瘤胃的发育，NH_3-N 浓度低于 5 mg/dL 时会限制瘤胃微生物蛋白的合成，而较高的 NH_3-N 与犊牛瘤胃乳头角质化不全直接相关，Bürger 等[错误!未找到引用源。]认为瘤胃适宜 NH_3-N 浓度为 6.3～27.5 mg/dL。本试验各组犊牛不同时期瘤胃氨氮浓度均处于适宜的浓度的范围。整个试验期内，试验各组犊牛瘤胃液 NH_3-N 浓度差异均不显著，但随日龄变化出现极显著的增长，这说明随着犊牛 DMI 不断增加，犊牛瘤胃的发育不断完善，而代乳品中不同蛋白质来源引起开食料 DMI 的差异并没有造成瘤胃液 NH_3-N 浓度变化，从这一点来看，代乳品中蛋白质来源的不同对瘤胃的发育没有影响。

乙酸、丙酸、丁酸等 VFA 是瘤胃内碳水化合物发酵的主要产物，其浓度成是衡量瘤胃发育成熟程度的重要指标[错误!未找到引用源。]。在本试验中，28 和 42 日龄试验各组 TVFA 浓度均无显著差异，在 56 日龄，大豆和大米蛋白组 TVFA 浓度高于乳源蛋白质、小麦蛋白和花生蛋白组，这种差异可能是由于开食料 DMI 的差异造成的，较高的 DMI 可为瘤胃发酵提高更多的发酵底物，因而可产生更多的 VFA。本试验中，56 日龄大豆和大米蛋白组犊牛瘤胃液 pH 低于乳源蛋白质、小麦蛋白和花生蛋白 3 组，且与小麦、花生蛋白组差异显著，瘤胃中 pH 主要受瘤胃中 VFA 的产生速度和数量影响，56 日龄时各组瘤胃 TVFA 浓度并没有直接反应瘤胃液 pH 的变化，这可能与本试验饲粮类型有关，代乳品和开食料富含易消化的碳水化合物，在瘤胃内快速发酵产酸，使瘤胃液 pH 较低，进而转变瘤胃内微生物发酵途径，产生大量的丙酸和乳酸[错误!未找到引用源。]。43～56 日龄大豆和大米蛋白组开食料 DMI 较其他 3 组高，可能会导致大豆和大米蛋白组瘤胃乳酸沉积量较其他 3 组高，进而引起大豆和大米蛋白组瘤胃液 pH 较低。高乳酸水平会引起犊牛瘤胃埃氏巨球形菌等增繁，通过丙烯酸盐途径发酵乳酸产生丙酸[错误!未找到引用源。]，这与该期大豆和大米蛋白组丙酸浓度高、乙酸/丙酸低的结果相符。胡红莲等[错误!未找到引用源。]报道随着瘤胃液 pH 降低血浆中丁酸浓度显著升高，这说明较低的 pH 有利于瘤胃上皮对丁酸的吸收，这也与本试验中大豆和大米蛋白组丁酸浓度较低的结果一致。56 日龄时，饲喂植物源蛋白质组犊牛瘤胃异戊酸、戊酸浓度显著高于乳源蛋白质组，异戊酸等异位酸以及戊酸是瘤胃内纤维分解菌必需的生长因子[错误!未找到引用源。]，可提高纤维分解菌的数量，促进瘤胃的发育，增强瘤胃对饲粮中 OM 的消化能力，这也与 56 日龄时植物源蛋白质组犊牛 OM 消化率提高的结果一致。

4 结　论

在本营养影响调控条件下，得出以下结论：

① 犊牛在 29~35 日龄阶段，乳源蛋白质的 OM 和 CP 消化率高于植物源蛋白质；57~63 日龄阶段蛋白质来源之间的差异明显变小；大米蛋白的 EE 消化率高于乳源蛋白质和其他植物源蛋白质。

② 56 日龄，代乳粉蛋白质源为大豆和大米蛋白时，瘤胃液 pH、丁酸浓度低于乳源蛋白质、小麦、花生蛋白，瘤胃液丙酸浓度也较乳源蛋白质、小麦、花生蛋白高。4 种植物源蛋白质组瘤胃异戊酸、戊酸浓度显著高于乳源蛋白质组。

综合分析，相较于乳源蛋白质，植物源蛋白质会影响犊牛对营养物质的消化率，随日龄的增长，差距减小。相较于乳源蛋白质，4 种植物源蛋白质均可促进瘤胃的发育。

参考文献:

[1] HEINRICHS A J.Raising dairy replacements to meet the needs of the 21st century[J].Journal of Dairy Science,1993,76(10):3179–3187.

[2] 刁其玉.后备牛蛋白质营养需要研究进展[J].饲料工业,2010(增刊):15–19.

[3] LALLES J P, TOULLEC R, Pardal P B, et al.Hydrolyzed soy protein isolate sustains high nutritional performance in veal calves[J].Journal of Dairy Science,1995,78(1):194–204.

[4] TOMKINS T,SOWINSKE J,DRACKLEY J K.Milk replacer research leads to new developments[J].Feedstuffs,1994,66(42):13–23.

[5] TOMKINS T,SOWINSKI J,DRACKLEY J K.New developments in milk replacers for pre-ruminants[C]//Proceeding 55th Minnesota Nutrition Conference and Roche Technical Symposium. Paul, MN: University of Minnesota, St.,1994:71–89.

[6] 任慧波.植物蛋白代替乳蛋白在犊牛代乳料中的应用研究[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2004.

[7] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[8] ORTIGUES-MARTY I,HOCQUETTE J F,BERTRAND G,et al.The incorporation of solubilized wheat proteins in milk replacers for veal calves:effects on growth performance and muscle oxidative capacity[J].Reproduction Nutrition Development,2003,43:57–76.

[9] LABUSSIERE E,DUBOIS S,VAN MILGEN J,et al.Effect of solid feed on energy and protein utilization in milk-fed veal calves[J].Journal of Animal Science,2009,87(3):1106–1119.

[10] HILL T M,BATEMAN H G,ALDRICH J M,et al.Effects of using wheat gluten and rice protein concentrate in dairy calf milk replacers[J].The Professional Animal Scientist,2008,24(5):465–472.

[11] 李辉.蛋白水平与来源对早期断奶犊牛消化代谢及胃肠道结构的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2008.

[12] TERNOUTH J H,ROY J H B,STOBO I J F,et al.Concurrent studies of the flow of digesta in the duodenum and of exocrine pancreatic secretion in calves.5.The effect of giving milk once and twice daily,and of weaning[J].British Journal of Nutrition,1977,37(2):237–249.

[13] TUKUR H M,LALLÈS J P,PLUMB G W,et al.Investigation of the Relationship between *in Vitro* ELISA measures of immunoreactive soy globulins and *in Vivo* effects of soy products[J].Journal Agricultural and Food Chemistry,1996,44(8):2155–2161.

[14] 孙泽威,秦贵信,张庆华.大豆抗原蛋白对犊牛生长性能、日粮养分消化率和肠道吸收能力的影响[J].中国畜牧杂志,2005,41(11):30–33.

[15] DAWSON D P,MORRILL J L,REDDY P G,et al.Soy protein concentrate and heated soy flours as protein sources in milk replacer for preruminant calves[J].Journal of Dairy Science,1988,71(5):1301–1309.

[16] GUILLOTEAU P,LE HUËROU-LURON L I,CHAYVIALLE J A,et al.Plasma and tissue levels of digestive regulatory peptides during postnatal development and weaning in the calf[J].Reproduction Nutrition Development,1992,32(3):285–296.

[17] MONTAGNE L,TOULLEC R,LALLÈS J P.Intestinal digestion of dietary and endogenous proteins along the small intestine of calves fed soybean or potato[J].Journal of Animal Science,2001,79(10):2719–2730.

[18] MONTAGNE L,CRÉVIEU-GABRIEL I,TOULLEC R,et al.Influence of dietary protein level and source on the course of protein digestion along the small intestine of the veal calf[J].Journal of Dairy Science,2003,86(3):934–943.

[19] 姚录昆,杨开伦,范苏江,等.12～17 日龄羔羊对奶粉及处理大豆粉消化性的研究[J].草食家畜,2000(1):30–32.

[20] 高艳霞.代乳粉中添加大豆蛋白对犊牛生长发育的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2006.

[21] LIENER I E.Implications of antinutritional components in soybean foods[J].Critical Reviews in Food Science and Nutrition,1994,34(1):31–67.

[22] 李影球.犊牛代乳料中用大豆蛋白替代部分乳蛋白的试验研究[D].硕士学位论文.南宁:广

西大学,2005.

[23] 黄锡霞,雒秋江,孟庆龄,等.犊牛对乳和处理大豆粉消化性的比较研究[J].新疆农业大学学报,1997,20(2):9–15.

[24] SUÁREZ B J,VAN REENEN C G,GERRITS W J J,et al.Effects of supplementing concentrates differing in carbohydrate composition in veal calf diets: Ⅱ.Rumen development[J].Journal of Dairy Science,2006,89(11):4376–4386.

[25] 刘洁.肉用绵羊饲料代谢能与代谢蛋白质预测模型的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2012.

[26] BÜRGER P J,PEREIRA J C,VALADARES FILHO S,et al.Ruminal fermentation and microbial efficiency in Holstein calves fed diets with different concentrate levels[J].Revista Brasileira de Zootecnia,2000,29(1):215–224.

[27] 云强.蛋白水平及 Lys/Met 对断奶犊牛生长、消化代谢及瘤胃发育的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2010.

[28] SUÁREZ B J,VAN REENEN C G,BELDMAN G,et al.Effects of supplementing concentrates differing in carbohydrate composition in veal calf diets: Ⅰ.animal performance and rumen fermentation characteristics[J].Journal of Dairy Science,2006,89(11):4365–4375.

[29] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004.

[30] 胡红莲.奶山羊亚急性瘤胃酸中毒营养生理机制的研究[D].博士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.

[31] 刘强,黄应祥,王聪,等.异戊酸对西门塔尔牛瘤胃发酵及尿嘌呤衍生物的影响[J].畜牧兽医学报,2007,38(2):155–160.

Effects of Protein Source in Milk Replacer on Nutrient Digestion and Rumen Fermentation of Early-Weaner Calves

Huang Kaiwu[1,2] Tu Yan[1] Si Bingwen[1] Xu Guishan[2] Guo Jiangpeng[3] Yang Chuntao[1] Guo Feng[1] Diao Qiyu[1*]

（1. *Beijing Key Laboratory of Dairy Nutrition, Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100081, *China*; 2. *College of Animal Science, Tarim University, Alear* 843300, *China*; 3. *The Animal Husbandry Station of Beijing*, *Beijing* 100029, *China*）

Abstract: The objective of this study was to investigate the effects of protein source in milk

replacer on nutrient digestion and rumen fermentation of early-weaner calves. Fifty （21±5） -day-old Chinese Holstein bull calves with similar body weight were randomly assigned to 5 groups with 10 calves each. The protein source of control group (MP group) was from milk protein. Calves in 4 experimental groups were fed with milk replacer whose protein contains 70% vegetable protein and 30% milk protein of crude protein. Vegetable protein sources were soybean protein concentrate (SP), wheat gluten (WP), peanut protein concentrate (PP) and rice protein isolate (RP), respectively. The trial lasted for 42 d, and rumen fluid was collected at 28, 42 and 56 days of age; digestion trials were performed at 29 to 35 and 57 to 63 days of age, respectively. The results showed as follows： 1) there was no significant difference on the mean of dry matter intake (DMI) from 22 to 63 days of age among groups (P＞0.05), while DMI of claves at 57 to 63 days of age of SP and RP groups was significantly higher than the other groups (P<0.05). 2) At 29 to 35 days of age, organic matter (OM) digestibility of MP group was significantly higher than that of WP, PP and RP groups (P<0.05); crude protein (CP) digestibility of MP group was significantly higher than that of the other groups (P<0.05), while SP and RP groups were significantly higher than WP and PP groups (P<0.05), and WP group was significantly higher than PP group (P<0.05); ether extract (EE) digestibility of MP, SP and RP groups was significantly higher than that of WP and PP groups (P<0.05); calcium (Ca) digestibility of MP and RP groups was significantly higher than that of WP and PP groups (P<0.05); phosphorus (P) digestibility of MP group was significantly higher than that of SP, WP and PP groups (P<0.05). At 57 to 63 days of age, OM digestibility of MP group was significantly higher than that of WP and PP groups (P<0.05); CP digestibility of MP group was significantly higher than that of WP, PP and RP groups (P<0.05); Ca digestibility of MP group was significantly higher than that of SP and WP groups (P<0.05); EE digestibility of MP group was not significantly different from that of the other groups (P＞0.05); there was no significantly difference on P digestibility among five groups (P＞0.05). 3) There were no significantly differences on rumen fermentation indexes among five groups at 28 and 42 days of age (P＞0.05); at 56 days of age, rumen fluid pH of SP and RP groups was significantly lower than that of WP and PP groups (P<0.05). The difference of total volatile fatty acids (TVFA)

concentration of MP with the other groups was not significantly ($P>0.05$), while TVFA concentration of PP group was significantly lower than that of SP and RP groups ($P<0.05$); propionic acid and butyric acid concentrations of SP and RP groups were significantly higher and lower than those of MP, WP and PP groups ($P<0.05$), respectively, and isovaleric acid and valeric acid concentrations were significantly lower than those of the other groups ($P<0.05$). From the above, under nutrient conditions in the present study, the digestibility of vegetable protein is lower than that of milk protein in calves; soybean protein concentrate has higher digestibility in the four sources of vegetable protein, but the difference is lowered with growing; vegetable protein have stronger auxo-action to rumen growth than milk protein.

Key words: calf; vegetable protein; milk replacer; digestion; metabolism; rumen